جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارۀ سی و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

صص ۸۲- ۶۱

DOI: https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i2.85303

مقاله پژوهشی

تحلیل خطر احتمالی ریسک محور زمین‌لرزه بندر سیراف

میلاد محمدیان[1]- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۲۲

چکیده

با استفاده از روش‌های آماری و احتمالی تحت عنوان تحلیل خطر لرزه‌ای، می‌توان از ایمن بودن سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه‌ها اطمینان حاصل نمود، ازاین‌رو هرساله تحقیقات فراوانی حاوی روش‌های جدید پهنه‌بندی خطر زلزله در سراسر جهان ارائه می‌شود؛ بنابراین ضرورت استفاده از روش‌های جدید و به‌روزی که بتوان بر اساس آن نقشه‌های خطر لرزه‌ای را در کشور به‌روز کرد قابل احساس است؛ ازاین‌رو در این پژوهش با استفاده از رویکرد تحلیل خطر ریسک محور بر طبق استاندارد ASCE ۷-۱۰ به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه بندر سیراف در استان بوشهر با استفاده رهیافت احتمالی پرداخته که بر اساس پارامترهای مربوط در این منبع نتایج حاصل از تحلیل خطر موردبررسی قرارگرفته است. در مطالعه حاضر، به‌منظور بررسی وضعیت لرزه‌ای ساختگاه مجموعه‌ای از داده‌های لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی با پوشش زمانی تا سال ۲۰۱۹ تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری بکار گرفته شده و منابع لرزه زا مدل شده‌اند. بدین منظور منابع لرزه زا در گستره طرح با استفاده از نقشه‌های موجود، تعیین و پس از آن مدل مناسب از چشمه‌های لرزه زا به‌صورت خطی در منطقه ارائه شده است. فهرست زمین‌لرزه‌های رخ‌داده در گستره طرح از طریق اسناد و کتب تاریخی و ثبت دستگاهی جمع‌آوری شده و با استفاده از روش کیکوسلول، نواقص موجود در کاتالوگ برطرف شده است. جهت دستیابی به توزیع پوآسونی رویدادها با استفاده از دو روش پنجره زمانی- مکانی گاردنر و نوپوف و روش نظامند گرانتسال، حذف پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها انجام شده است. در نهایت با ترکیب منابع لرزه زا و استفاده از روابط کاهندگی مناسب، پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از روش گوتنبرگ- ریشتر و کیکوسلول، محاسبه و نتایج به‌صورت طیف خطر ریسک محور در سطح طراحی برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال با استفاده از روش احتمالی تحلیل خطر لرزه‌ای برای بندر سیراف ارائه شده است. نتایج پژوهش حاکی است که مقادیر لرزه‌ای طیف به‌دست‌آمده بر طبق آیین‌نامه ASCE ۷-۱۰ از مقدار پیشنهادی برای این ناحیه در استاندارد ۲۸۰۰ متفاوت است، همچنین پیشنهاد شده است

[1] نویسنده مسئول:۰۹۱۸۳۷۸۰۳۴۵

Email: milad.engeener@gmail.com

بـه دلیل لرزه‌خیزی بالای منطقه از روش‌های جدید و به‌روزی که در آن‌ها ثبت و برآورد زلزله به‌صـــورت مناسبی انجام شده است استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: تحلیل خطر زلزله، استاندارد ASCE ۷، بندر سیراف، زمین‌لرزه ریسک محور، لرزه‌خیزی.

۱- مقدمه

هرگاه یک ناهنجاری اقلیمی اثر زیانباری روی زندگی انسـان داشـته باشد جزو بلایای اقلیمی یا طبیعی به شمار می‌آید. امروزه شواهد کافی نشان می‌دهند که پدیده زمین‌لرزه مشکلات جدی و گسترده‌ای را در سرتاسر جهان پدید آورده و روی زندگی انسان تأثیر نامطلوب گذاشته و آسیب‌های زیادی نیز بر زیرساخت‌ها وارد آورده است؛ بنابراین در راستای کاهش این خسارات و تلفات باید به فکر راه‌حل و پیش‌بینی میزان قدرت و توانایی زلزله‌های آتی برآمد (شرودر و ویس[1]، ٢٠١٤).

رفتار ناشناخته ناشی از زلزله و عدم قطعیت‌های آن، به تشدید اثرات مخرب آن می‌افزاید، بنابراین یکی از راه‌های تفسیر و شناخت پدیده زلزله در هر منطقه، مطالعه زلزله‌های گذشته در آن منطقه و بررسی آن‌ها به‌صورت آماری و احتمالاتی است (بولت[2]، ۲۰۰۳).

شـناخت آسـیب‌پذیری شـهرها؛ به‌ویژه در ایران که شهرها بافت‌های نامتجانس و درعین‌حال کهنه‌ای دارند، از اهمیت بالایی برخوردار است. کشور ایران در نوار لرزه‌خیز آلپ–هیمالیا واقع گردیده و در ردیف کشورهای لرزه‌خیز جهان قرار دارد. همه‌سـاله در این نوار لرزه‌خیز شـاهد زلزله‌های مخربی هسـتیم که آسیب‌های جانی و مالی فراوان برجای می‌گذارد و وقوع زمین‌لرزه‌های مخربی نظیر زمین‌لرزه‌های ١٩٦٢ بویین‌زهرا، ١٩٦٨ دشت بیاض، ۱۹۷۲ قیر، ۱۹۷۸ طبس، ۱۹۹۰ رودبار، ۱۹۹۷ اردبیل، ۲۰۰۲ چنگوره، ۲۰۰۳ بم، ٢٠٠٤ فیروزآباد کجور، ۲۰۰۵ زرند و نهایتاً ازگله ۲۰۱۷ به همراه بسیاری از زمین‌لرزه‌های دیگر، حاکی از لرزه‌خیزی بالای این پهنه است.

در سـوی دیگر وجود منابع متعدد نفت و گاز در کشور موجب گسترش مجتمع‌ها و تأسیسات مرتبط با صنایع نفت، گاز و پتروشیمی شده است که تراکم بسیاری از این تأسیسات در مناطق لرزه‌خیز سبب افزایش اهمیت بررسی عملکرد لرزه‌ای سـازه‌ها و تجهیزات موجود در این مجتمع‌ها شده است. این در حالی است که آسیب‌های وارده بر سـازه‌ها و تأسـیسات صنعت نفت، محدود به خسارت‌های مستقیم فیزیکی نمی‌شود و تبعات گسترده غیرمستقیمی چون خسارت‌های اقتصادی ناشی از وقفه در عملیات، انفجار و آتش‌سوزی و آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز در بر خواهد داشت. بر این اساس توجه ویژه به عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت و شریان‌های حیاتی در کنار سایر سازه‌های دیگر امری ضروری به شمار می‌رود (بزرگنیا و برترو[3]، ٢٠٠٤).

1 Shroder & Wyss
2 Bolt
3 Bozorgnia & Bertero

بنابراین با توجه به اینکه کشـور در منطقه‌ای از جهان با خطر نسبی زلزله قابل‌توجه قرارگرفته، توجه به عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تأسیسات مختلف در این منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار است.

همه مسائل فوق‌الذکر لزوم توجه به زلزله و برآورد دقیق خطرات ناشی از آن را برای سازه‌های که در آینده ساخته می‌شوند را نشان می‌دهد. به این امید که با شناخت دقیق خطر لرزه‌ای، طراحی متناسب با این خطر و اجرای مناسب سـازه‌های طراحی‌شـده، خطرپذیری لرزه‌ای و خسارات ناشی از زمین‌لرزه به حداقل ممکن کاهش یابد (بزرگ‌نیا و برترو، ۲۰۰٤).

لذا با توجه به تجربیات به‌دسـت‌آمده از زلزله بم و سـایر پژوهش‌های جهانی لزوم مطالعه و بررسـی وضـعیت لرزه‌خیزی سـاختگاه‌های موجود در جنوب ایران لازم به نظر می‌رسد، بنابراین با توجه به مفهوم جدید تحلیل خطر ریسـک محور موجود در اسـتاندارد ASCE-۷ به تعیین خطر احتمالاتی خطر زمین‌لرزه در سـاختگاه بندر سیراف پرداخته شده است.

بـه وسـیلـه تحلیـل‌خطر لرزه‌ای، احتمـال بلندمدت وقوع یک رویداد در یک منطقه به ازای یک‌زمان و اندازه مشـخص، موردبررسی قرار می‌گیرد که به‌منظور ارزیابی سطح خطر در هر ساختگاه در ترازهای مختلف طراحی و همچنین ارزیابی پایداری سازه‌های موجود در برابر زمین‌لرزه‌های محتمل آتی استفاده می‌شود (گوپتا، ۲۰۰۲)، بنابراین با استفاده از تحلیل خطر زلزله تلاش می‌شود که تصویر واقعی‌تری از پدیده زلزله ارائه گردد تا به‌عنوان یک بارگذاری مهم و تأثیرگذار در طراحی سازه‌ها و زیرساخت‌های عمرانی استفاده شود (زارع، ۱۳۸۸).

تحلیل خطر زمین‌لرزه به دو صـورت تعینی و احتمالاتی قابل تعیین اسـت. اولین بار روش تحلیلی برآورد خطر احتمالاتی جنبش نیرومند زمین (PSHA) توسـط کورنل[1] (۱۹٦۸) ارائه شد و این روش بعدها به خوبی و کامل‌تر توسط الگرمسین و همکاران[2] (۱۹۸۲) تبیین شده است (کرامر، ۱۹۹٦).

در برآورد خطر زمین‌لرزه بر اسـاس رهیـافـت احتمالاتی، تحلیل بر پایه تمامی حالات ممکن از مقادیر ممکن بزرگای زمین‌لرزه چشمه‌های لرزه‌زا در گستره موردنظر و در تمامی فاصله‌های ممکن از ساختگاه موردمطالعه انجام می‌گیرد، یکی از مزیت‌های روش احتمالاتی، این اسـت که مجموعه‌ای از تمامی رویدادهای محتمل برای احتمال فزونی برای یک سطح خاص با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه می‌شود و نتایج این روش به واقعیت نزدیک‌تر است (کرامر[3]، ۱۹۹٦).

ازجمله تحقیقات صـورت گرفته در رابطه با تحلیل خطر و برآورد بیشـینه شتاب افقی جنبش نیرومند زمین در ایران می‌توان به پژوهش زارع و همکاران (۲۰۱۵، ۲۰۱٦)، قدرتی امیری و همکاران (۲۰۰۳، ۱۳۸۹، ۱۳۹٤)، یوسفی

1 Cornell
2 Algermissen et al
3 Kramer

صبوری و تقی‌خانی(۱۳۹٤)، اشجع ناس و همکاران (۱۳۹۷)، شایان و زارع (۱۳۹۳)، آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (۱۳۸۰) و مطالعات پهنه‌بندی و برآورد خطر لرزهای سایت ۳ پارس جنوبی توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۵) اشاره کرد.

همچنین ازجمله تحقیقات صورت گرفته در رابطه با تحلیل خطر بر طبق رویکرد ریسک محوری استاندارد ASCE ۷-۱۰ می‌توان به تحقیقات نوجوان و همکاران (۱۳۹۹)، داگلاس و همکاران[1] (۲۰۱۳)، لیل و همکاران[2] (۲۰۱۵)، سیلوا و همکاران[3] (۲۰۱٦)، پترسون و همکاران[4] (۲۰۱۸)، سنگارا و همکاران[5] (۲۰۱۲، ۲۰۲۰) و سلیمان میگونی و تهرانی زاده (۲۰۲۰) اشاره کرد.

تعریف و مبنای حرکات احتمالی زمین در مقررات جدید از ASCE / SEI ۷-۰۵، از دو درصد سطح خطر در پنجاه سال به یک درصد ریسک فروریزش در پنجاه سال تغییر کرده است. این تغییر با هدف دستیابی به سطح یکنواخت‌تر جلوگیری از فروریزش و خرابی، طراحی لرزه‌ای را بهبود بخشیده است.

در نسخه‌های قبلی استاندارد ASCE-۷، حداکثر زلزله در نظر گرفته شده حرکات احتمالی زمین ازنظر جغرافیایی و در سراسر پریودهای ارتعاشی سازه‌ای از خطری یکنواخت برخوردار بودند؛ اما واقعاً احتمال خرابی سازه‌ای با تلفات ناشی از آن و توزیع جغرافیایی احتمالی آن لزوماً با توزیع احتمال فراگذشت از برخی حرکت زمین یکسان نیست. تعریف جنبش زمین بر اساس یک احتمال ثابت برای کل ایالات‌متحده بر اساس تفاسیر نسخه‌های پیشین مقررات ثابت نموده که نمی‌تواند به سطوح تقریباً برابری از ایمنی لرزه‌ای برای همه سازه‌ها منجر شود (آئین نامه نرپ[6]، ۲۰۰۳). لذا تغییر در حرکات ریسک محور زمین با استفاده از اشکال مختلف منحنی‌های خطر برای تعیین خطر یکنواخت (۲٪ در ۵۰ سال) جنبش زمین استفاده شده، به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود هنگامی‌که در طراحی استفاده می‌شود منجر به تکرار یکنواخت سالیانه خرابی یا سطح ریسک شود؛ بنابراین به‌منظور تعیین پاسخ شتاب طیفی احتمالاتی در این استاندارد انتظار می‌رود با استفاده از این رویکرد طیف پاسخ شتاب با میرایی ۵٪ به احتمال فروپاشی ۱٪ در یک دوره ۵۰ سال برسد (ASCE/SEI 7-10) .

مبنای فنی این تغییر را می‌توان در پژوهش "ریسک‌محوری در نقشه‌های کنونی طراحی لرزه‌ای برای مناطق مرزی ایالات متحد آمریکا" لوکو و همکاران[7] (۲۰۰۷) یافت.

1 Douglas et al
2 Liel et al
3 Silva et al
4 Petersen et al
5 Sengara et al
6 NEHRP
7 Luco et al

۲- مواد و روش‌ها

به منظور برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین که در این بخش مقادیر بیشینه شتاب طیفی افقی موردنظر است، از روش احتمالاتی استفاده شده است. برای برآورد صحیح پارامتر موردنظر (شتاب) و انجام تحلیل خطر زمین‌لرزه، لازم است تا به مواردی همچون انتخاب رابطه کاهندگی، مدل نمودن چشمه‌های لرزه زا، برآورد توان لرزه زایی هر یک از چشمه‌ها و مشخص نمودن نوع خاک ساختگاه توجه کافی شود.

بنابراین به منظور انجام این پژوهش، ابتدا با مطالعه کتب، مقالات، مجلات، گزارش‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و عکس‌های ماهواره‌ای، اطلاعات موجود در خصوص لرزه‌خیزی منطقه، جمع‌آوری گردید. در این مرحله، قسمت اعظم مطالعات بر روی بررسی چشمه‌های لرزه زا و گسل‌ها و خصوصیات آن‌ها متمرکز بوده است. همچنین به‌منظور تحلیل خطر زمین‌لرزه و تعیین نحوه‌ی پاسخ به بارگذاری لرزه‌ای، اطلاعاتی نظیر رویداد زمین‌لرزه‌ها، دستیابی به توزیع پوآسنی زمین‌لرزه‌ها، پارامترهای لرزه‌خیزی ساختگاه، توصیف کمی گسل‌ها، عمق لایه لرزه زا و روابط کاهندگی سازگار با منطقه نیاز است. بدین منظور پس از تعیین منابع لرزه زا در منطقه و گردآوری داده‌های لرزه‌ای روی‌داده در گستره طرح با استفاده از نقشه‌های موجود، مدل مناسب از چشمه‌های لرزه زا به‌صورت خطی در منطقه ارائه شده است. فهرست زمین‌لرزه‌های روی‌داده در ساختگاه از طریق اسناد تاریخی و ثبت دستگاهی جمع‌آوری‌شده است. با استفاده از روش‌های کیکو–سلول[1] و گوتنبرگ–ریشتر[2]، نواقص موجود در این کاتالوگ مرتفع شده است و دستیابی به توزیع پوآسنی با به‌کارگیری از روش پنجره زمانی–مکانی گاردنر و نوپوف[3]، حذف پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها انجام شده است (از نرم‌افزار ZMAP استفاده شده است). با استفاده از روش‌های کیکو–سلوول و گوتنبرگ–ریشتر، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه محاسبه و پس از انجام بررسی‌هایی، بهترین نتایج انتخاب شده‌اند. پس از ترکیب منابع لرزه زا و استفاده از روابط کاهندگی مناسب، تحلیل خطر لرزه‌ای بر پایه آنالیز داده‌ها در محیط نرم‌افزار EZ-FRISK ۷٫٤۳ (۲۰۱۰) صورت گرفته و با انتقال این داده‌ها به نرم‌افزار طاهاسازان و استفاده از خروجی‌های نهایی، طیف‌شتاب ریسک محور مؤلفه افقی برای ساختگاه ارائه شده است.

۲-۱-معرفی ساختگاه طرح

بندر سیراف مرکز بخش سیراف در محدوده استان بوشهر در نزدیکی شهر کنگان در جنوب ایران حد فاصل جنوب و جنوب غرب کشور واقع شده است (N, 52.3425° E °۲۷٫٦٦٦۷) (شکل۱). بندر سیراف یکی از

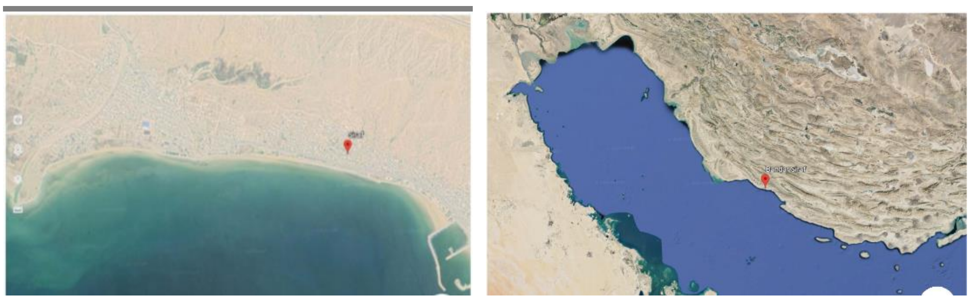
1 Kijko & Sellevoll
2 Gutenberg & Richter
3 Gardner & Knopo

قدیمی‌ترین بندرهای ایران است که مابین بندر کنگان و بندر عسلویه واقع شده است و همچنین این بندر بین دریا و کوه قرار گرفته است.

ساختارهای گستره ساختگاه به تبعیت از روند عمومی زاگرس دارای روند شمال غرب – جنوب شرق است و در گستره ساختگاه چین‌ها بیشتر از نوع تاقدیس هستند که محور آن‌ها هم روند با ساختارهای زاگرس است که با وجود گسل‌های کوچک و پیچش ناشی از چین‌خوردگی لایه‌بندی موجود در گستره دارای جهت‌های متفاوتی هستند، اما در نزدیکی ساختگاه لایه‌بندی با شیب کم به سمت جنوب است. محل ساختگاه از منظر ژئومورفولوژی دارای توپوگرافی هموار و دشتگون و از منظر استان‌های رسوبی – ساختاری ایران (میرزائی همکاران، ۱۹۹۸)، در محدوده زاگرس چین‌خورده قرار دارد (درویش زاده، ۱۳۷۰) و ازنظر ساختار لیتولوژی مهم‌ترین ساختمان زمین‌شناسی مربوط به تاقدیس کنگان است که این تاقدیس ازجمله بزرگ‌ترین تاقدیس‌ها در میدان‌های گازی جنوب کشور است (افتخارنژاد، ۱۳۵۹).

از گسل‌های نزدیک به ساختگاه که تأثیر بسیار زیادی در اثر زمین‌لرزه احتمالی دارد، می‌توان گسل پیشانی کوهستان (قطعه سوم) را نام برد.

به‌منظور بررسی زیرسطحی ساختگاه تعداد ۱۳ حلقه گمانه اکتشافی حفر شده است که نتایج آن‌ها بیانگر قرارگیری ساختگاه در خاک نوع II بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم، ۱۳۹٤) است.



شکل ۱- نمای نزدیک و دور از ساختگاه طرح در تصاویر ماهواره‌ای محل ساختگاه

۲-۲-بررسی وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه

یکی از مهم‌ترین بخش‌های تحلیل پتانسیل خطر لرزه‌ای در هر ناحیه، شناسایی منابع لرزه زا است.برای شناخت سرشت لرزه‌ای و الگوی لرزه‌خیزی منطقه باید اطلاعات تمام زلزله‌های رخ‌داده در محدوده لازم جمع‌آوری شود. برای انجام تحلیل‌خطر زلزله جمع‌آوری و توسعه یک بانک داده یکپارچه و جامع از چشمه‌های لرزه‌ای منطقه موردمطالعه پیش‌نیاز است، بنابراین جهت بررسی وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه تصاویر ماهواره‌ای و نگاره‌های هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی موردمطالعه قرار گرفته و وضعیت زمین‌ساختی و گسلش منطقه بررسی شده است.

پس از بررسـی نگاره‌های ماهواره‌ای و نقشـه‌های زمین‌شـناسـی محدوده پیرامون گسـتره سـاختگاه و تدقیق آن با مشـاهدات میدانی صورت گرفته و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی منتشر شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران و شـرکت ملی نفت ایران مشخص شد که چشمه‌های لرزه زا خطی موجود در گستره موردمطالعه عموماً دارای روند شـمال غرب – جنوب شـرق بوده و عملکرد آن‌ها شـیب‌لغز معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در دو مرحله گردآوری زلزله‌های رخ‌داده صورت گرفته است، در مرحله اول در گستره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر به مرکز سـاختگاه طرح انجام شـده و در مرحله دوم پس از تعیین زلزله‌های مستقل، زلزله‌های اصلی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از گستره اولیه طرح جدا شده است.

با اسـتفاده از تصـاویر ماهواره‌ای ۳ خطواره شـناسـایی شـد که بر پایه هندسه گسل از نوع گسل‌های امتدادلغز محسـوب می‌شوند. از این میان خطوارههای ۱ و ۲ با راستای شمال شمال غرب – جنوب جنوب شرق به‌صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته‌اند و خطواره شماره ۳ دارای روند شمال غرب – جنوب شرق است.

همچنین به دلیل عدم وجود رخنمون سطحی بسیاری از گسل‌ها در استان لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس که به‌عنوان گسل‌های کور شناخته شده‌اند، امکان شناسایی وجود نداشت، بنابراین با توجه به قرارگیری ساختگاه در این پهنه و وجود گسـل‌های پنهان و چین‌های مرتبط با فعالیت این نوع گسل‌ها در گستره طرح، ۱۰ چشمه لرزه زا سطحی در نظر گرفته شده است (جدول ۲).

جدول ۱- چشمه‌های لرزه زا خطی در ساختگاه به همراه طول و سازوکار

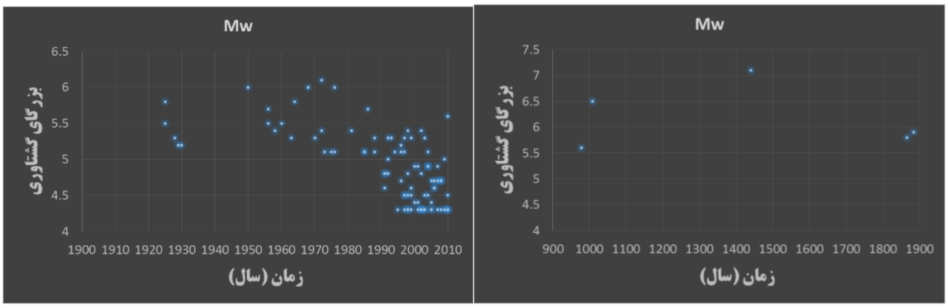
Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip dorction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip dorction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip dorction
1	Ab garm	R	40	N	27	Kalagh 1	R	87	NE	53	Mymand	R	31	NE
2	Ahmadi	R	41	NE	28	Kalagh 2	S	28	-	54	Nadvan	S	16	-
3	Akbar Abad	R	13	N	29	Karebas	S	54	-	55	Narreh	R	22	NE
4	Behjan Syncline	R	48	NE	30	Khafar	R	57	NE	56	Nezam Abad 1	N	58	NW
5	Bolgkan	R	37	S	31	Khavaran	S	38	-	57	Nezam Abad 2	S	13	-
6	Borazjan 1	R	51	NE	32	Khonj	R	22	NE	58	North Fishvar	R	60	N
7	Borazjan 2	R	26	NE	33	Kuh-e-Seya	R	31	N	59	North Khazeyad	R	22	SW
8	Borus	R	9	NE	34	Lar	R	15	NE	60	Pazanan	R	108	NE
9	Darbast	R	13	N	35	Lineament 1	S	68	-	61	Roodyal 1	R	21	NE

Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip dorction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip dorction	Row	Faults Name	Mechanism	Fault Length	Dip dorction
10	Dehrood1	R	26	NE	36	Lineament 2	S	54	-	62	Roodyal2	R	36	NE
11	Dehrood2	R	44	NE	37	Lineament 3	S	39	-	63	Roshanaei	R	17	NE
12	Didehban	R	32	N	38	Mahleche	S	21	-	64	Safid	S	13	-
13	Farashband	R	47	NE	39	Mahmale 1	R	38	NE	65	Sapiddar 1	R	19	N
14	Fishvar	R	23	N	40	Mahmale 2	S	35	-	66	Sapiddar 2	R	20	N
15	Gazdan	R	23	S	41	Manian1	R	89	NE	67	Sarvestan	R	25	NE
16	Ghir	R	9	NE	42	Manian2	R	75	NE	68	Sefidar	S	28	-
17	Harm 1	S	14	-	43	MFF 1	R	59	NE	69	Sepidar Anticline	S	12	-
18	Harm 2	S	53	-	44	MFF 2	R	107	NE	70	Shahini 1	S	17	-
19	Harm 3	R	37	SW	45	MFF 3	R	15	NE	71	Shahini 2	S	11	-
20	Harm 4	R	27	SW	46	MFF 4	R	46	NE	72	Siakh 1	S	14	-
21	Hasan Abad	R	33	N	47	MFF 5	R	30	NE	73	Siakh 2	S	40	-
22	Hegan 1	R	9	NE	48	MFF 6	R	12	NE	74	South Farrashband	S	46	-
23	Hegan 2	R	11	N	49	MFF 7	R	109	NE	75	South Khazeyad	R	33	N
24	Hosein Abad	R	13	N	50	MFF 8	R	65	NE	76	Surmeh	R	21	NE
25	Jahrom 1	S	29	-	51	Mozafari 1	S	20	-	77	Takhteh	S	39	-
26	Jahrom 2	S	37	-	52	Mozafari 2	R	30	NE					

جدول ۲- چشمه‌های لرزه زا سطحی در گستره ساختگاه

نام پهنه	MMAx	مشخصات
پهنه شماره یک	4.3	این پهنه در منتهی‌الیه جنوب غرب گستره قرار دارد که دو زمین‌لرزه در آن به ثبت رسیده است
پهنه شماره دو	6.0	این پهنه بزرگ‌ترین پهنه لرزه‌ای موجود در گستره موردمطالعه است که به سبب رخداد زمین‌لرزه‌های در داخل دریا و خشکی ترسیم شده است. این پهنه در بخش شمال غربی خود بخشی از گسل برازجان و در بخش جنوب شرقی تاقدیس خلفانی را در بر می‌گیرد.
پهنه شماره سه	5.3	این پهنه در برگیرنده تاقدیس کاکی و بخشی از گسل برازجان است
پهنه شماره چهار	5.1	این پهنه دربردارنده تاقدیس وروی است
پهنه شماره پنج	4.3	این پهنه دربردارنده محورهای دو تاقدیس خورموج و سیاه است
پهنه شماره شش	5.5	این پهنه دربردارنده محورهای تاقدیس دشت پلنگ و گردان است

نام پهنه	MMAx	مشخصات
پهنه شماره هفت	5.7	این پهنه لرزه‌ای دربردارنده محور تاقدیس‌های سفید کرده، باچون، کوه سیاه، مز و ناودیس پیر غیب است
پهنه شماره هشت	5.8	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس‌های هکان، دریایی و ناودیس زین‌آباد است
پهنه شماره نه	6.0	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس‌های امیر، دالان و بهار است
پهنه شماره ده	5.3	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس بوشکان است



شکل۲- پراکندگی زمین‌لرزه‌های اصلی دستگاهی و تاریخی نسبت به بزرگا و زمان در گستره ساختگاه

۲-۳-تجمیع کاتالوگ لرزه‌ای داده‌های تاریخی و دستگاهی

ازآنجایی‌که در گستره موردنظر طرح پس از سال ۱۹۰۰ میلادی زمین‌لرزه‌های بزرگی در فاصله کمتر از ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه روی‌داده، بنابراین ازجمله مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های دستگاهی روی‌داده در این گستره، می‌توان زمین‌لرزه ۹ آپریل ۲۰۱۳ با بزرگای گشتاوری ٦/٣، زمین‌لرزه ۱۹۷۲ قیر – کارزین با Ms=٦،٩، زمین‌لرزه ١٤ ژانویه ۲۰۰٤ با شتاب ثبت شده برابر با ۳۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه، زمین‌لرزه ۱۷ فوریه ۲۰۰۲ میلادی به بزرگی ٥/٤ در مقیاس بزرگای گشتاوری را نام برد. همچنین جهت جمع‌آوری زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران از کتاب تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران استفاده شده است (آمبرسیز و ملویل[1]، ۱۹۹۱). مهم‌ترین رویدادهای این دوره در گستره ساختگاه شامل زمین‌لرزه ۱۷ ژوئن ۹۷۸ میلادی سیراف، زمین‌لرزه ۱۰۰۸ میلادی سیراف، زمین‌لرزه ١٤٤٠ میلادی کارزین – قیر است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۹۱).

۲-٤-برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی

ازجمله مهم‌ترین مراحل تحلیل خطر زلزله تعیین بیشینه بزرگای منتسب به هر گسل است، در این پژوهش این بزرگا توسط چهار رابطه ولز و کاپراسمیت[2] (١٩٩٤)، آمبرسیز و جکسون[3] (۱۹۹۸)، سلمونز[4] (۱۹۹۷) و نوروزی

1 Ambraseys and Melville
2 Wells & Coppersmith
3 Ambraseys & Jackson
4 Slemmons

(۱۹۸۵) محاسـبه شـده و پس از میانگین‌گیری و اعمال ارزش یکسـان به‌تمامی روابط مقادیر نهایی به‌عنوان بیشینه بزرگای پذیرفتنی برای هر یک از چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای ارائه شده است.

ازاین‌رو بـاتوجه به اینکه بزرگ‌ترین زلزله‌های روی‌داده در گســتره طرح، زلزله تاریخی ۱۴۴۰ قیر و کارزین با بزرگای Ms۷/۱= در فاصــله ۱۴۴ کیلومتری ســاختگاه و زلزله دســتگاهی ۹ آپریل ۲۰۱۳ با بزرگای Mw۶/۳= در فاصله ۱۰۵ کیلومتری ساختگاه است. نزدیک‌ترین زلزله تاریخی مربوط به ۱۷ ژوئن ۹۷۸ و ۱۰۰۸ میلادی است که به ترتیب با بزرگای Mw۵/۶= و Mw۶/۵= در فاصــله ۳ کیلومتری ســاختگاه و زلزله دســتگاهی ۵ فوریه ۲۰۱۰ با بزرگای Mw۴/۵= در فاصـله ٦ کیلومتری از سـاختگاه رخ‌داده اسـت، بنابراین پیشـنهاد بیشـینه بزرگای منتسب به گسل‌های موجود در ساختگاه با توجه به طول چشمه‌های لرزه زا در این گستره مقدار Ms ۷/۱= است.

برای تجمیع و تدوین کاتالوگ لرزه‌ای با بهره‌گیری از روابط مناسب تبدیل بزرگا، باید به یک بیان یکنواخت از بزرگا دسـت یافت. واحدهای متنوعی برای توصـیف بزرگای زلزله اسـتفاده شـده که بزرگای گشـتاوری یکی از مناسـب‌ترین معیارها اسـت، زیرا این بزرگا ماهیت فیزیکی داشـته و مستقل از تجهیزات لرزه‌نگاری است، بنابراین بزرگاهای مختلف داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روابط اسکوردیلس[1] (۲۰۰٦) و شجاع طاهری و همکاران (۲۰۰۷) به بزرگای گشتاوری تبدیل شده است.

همچنین جهت حذف پیشـلرزه و پسلرزه از رویدادهای اصلی روش پنجره‌های متغیر در حوزه زمان و مکان با اعمال داوری کارشـناسی برای حذف یا اضافه نمودن دستی زمین‌لرزه‌های خاص، از پنجره زمانی گاردنر و نوپوف (۱۹۷٤) و روش نظام‌مند گرانتال[2] (۱۹۹۸) استفاده شده است.

به‌منظور برآورد بیشینه مقادیر پارامترهای جنبش نیرومند زمین به روش احتمالی برای سطوح مختلف لرزه‌ای در طراحی، از روابط کاهندگی آمبرسیز و همکاران[3] (۱۹۹٦)، کمپبل و بزرگنیا[4] (۲۰۰۸، ۲۰۰۳)، چیو و یانگس[5] (۲۰۰۸)، بور و همکاران[6] (۱۹۹۷) و آبراهامسون و سیلوا[7] (۲۰۰۸) استفاده شده است.

برای کمی سازی لرزه‌خیزی ساختگاه، روابط مختلفی با استفاده از نحوه توزیع زلزله‌ها و بزرگای آن‌ها ارائه شده اسـت؛ که ازجمله معتبرترین این روابط، رابطه گوتنبرگ- ریشـتر(۱۹٤٤) اسـت. همچنین قابل‌ذکر اسـت، ازجمله کامل‌ترین روش‌ها در به‌کارگیری رخداد زلزله‌های ناهمگون، آمیخته و با دقت پایین که مشابه با مشخصات رکوردها

---

1 Scordilis
2 Grünthal
3 Ambraseys et al
4 Campbell & Bozorgnia
5 Chiou & Youngs
6 Boore et al
7 Abrahamson & Silva

و داده‌های لرزهای ایران اســت روش ارائه شــده کیکو – سلوول (۱۹۸۹، ۱۹۹۲) است که در این پژوهش علاوه بر رابطه گوتنبرگ–ریشتر از روش کیکو نسخه نرم‌افزاری (۲۰۰۱) آن نیز استفاده شده است.

قابل بیان است که تهیه طیف پاسخ شتاب ریسک محور در دو مرحله صورت گرفته است. نخست بر پایه آنالیز داده‌ها در محیط نرم‌افزار EZ-FRISK ۷٫۴۳ داده‌های منحنی خطر در دوره تناوب ۰٫۲ و ۱ ثانیه تهیه شــــده و در سپس این خروجی‌ها با استفاده از نرم‌افزار طاهاسازان به طیف ریسک محور تبدیل شده است.

جدول ۳- برآورد توان لرزه زایی گسل‌های مهم گستره طرح

Row	Faults Name	Mechanism	L(f)	L(r)	1	2	3			4			MMAX	Mw
						G	S	R	N	S	R	G		
1	Ab garm	R	32	16	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.5	6.5
2	Ahmadi	R	41	20.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.7	6.6
3	Akbar Abad	R	40	20	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.7	6.6
4	Behjan Syncline	R	13	6.5	6.1	6.0	-	6.4	-	-	6.0	6.0	6.1	6.0
5	Bolgkan	R	48	24	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.8	6.7
6	Borazjan 1	R	75	37.5	6.9	6.9	-	7.2	-	-	6.9	6.9	7.0	6.9
7	Borazjan 2	R	46	23	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.7	6.7
8	Borus	R	37	18.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
9	Darbast	R	51	25.5	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.8	6.7
10	Dehrood1	R	26	13	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.4	6.4
11	Dehrood2	R	9	4.5	5.9	5.8	-	6.2	-	-	5.8	5.8	5.9	5.8
12	Didehban	R	13	6.5	6.1	6.0	-	6.4	-	-	6.0	6.0	6.1	6.0
13	Farashband	R	26	13	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.4	6.4
14	Fishvar	R	44	22	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.6	6.6	6.7	6.6
15	Gazdan	R	47	23.5	6.7	6.7	-	7.0	-	-	6.7	6.7	6.7	6.7
16	Ghir	R	23	11.5	6.4	6.3	-	6.7	-	-	6.3	6.3	6.4	6.3
17	Harm 1	S	23	11.5	6.4	6.3	6.2	-	-	6.3	-	6.3	6.2	6.3
18	Harm 2	S	9	4.5	5.9	5.8	5.7	-	-	5.9	-	5.8	5.7	5.9
19	Harm 3	R	14	7	6.1	6.0	-	6.4	-	-	6.0	6.1	6.1	6.0
20	Harm 4	R	53	26.5	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.7	6.7	6.8	6.7
21	Hasan Abad	R	37	18.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
22	Hegan 1	R	27	13.5	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
23	Hegan 2	R	33	16.5	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
24	Hosein Abad	R	9	4.5	5.9	5.8	-	6.2	-	-	5.8	5.8	5.9	5.8
25	Jahrom 1	S	11	5.5	6.0	5.9	5.8	-	-	6.0	-	5.9	5.9	6.0
26	Jahrom 2	S	13	6.5	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.0	5.9	6.0
27	Kalagh 1	R	29	14.5	6.5	6.4	-	6.8	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
28	Kalagh 2	S	37	18.5	6.6	6.6	6.4	-	-	6.6	-	6.5	6.5	6.6
29	Karebas	S	87	43.5	7.0	7.0	6.8	-	-	7.0	-	7.0	7.0	7.0
30	Khafar	R	28	14	6.5	6.4	-	6.7	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
31	Khavaran	S	54	27	6.8	6.8	6.6	-	-	6.8	-	6.7	6.7	6.8
32	Khonj	R	57	28.5	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.8	6.8	6.8	6.8

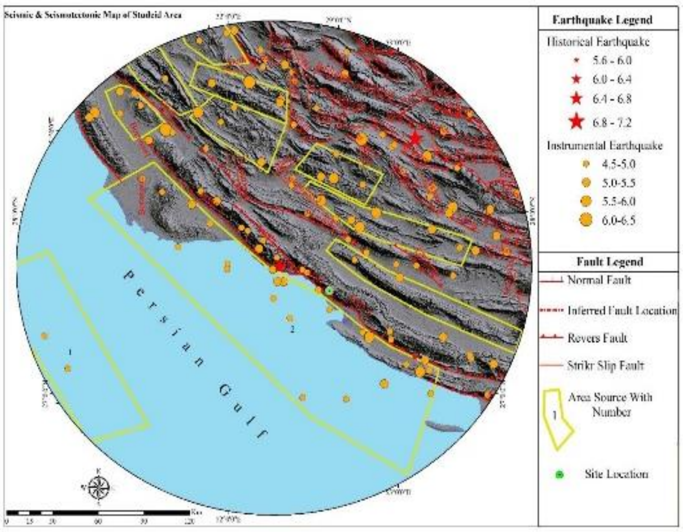
Ro w	Faults Name	Mecha nism	L(f)	L(r)	1	2	3			4			MM AX	Mw
						G	S	R	N	S	R	G		
33	Kuh-e-Seya	R	38	19	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.6	6.6
34	Lar	R	22	11	6.4	6.3	-	6.6	-	-	6.3	6.3	6.3	6.3
35	Lineament 1	S	31	15.5	6.5	6.5	6.3	-	-	6.5	-	6.5	6.4	6.5
36	Lineament 2	S	15	7.5	6.2	6.1	5.9	-	-	6.1	-	6.1	6.0	6.1
37	Lineament 3	S	68	34	6.9	6.9	6.7	-	-	6.9	-	6.9	6.8	6.9
38	Mahleche	S	54	27	6.8	6.8	6.6	-	-	6.8	-	6.7	6.7	6.8
39	Mahmale 1	R	39	19.5	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.6	6.6
40	Mahmale 2	S	21	10.5	6.3	6.3	6.1	-	-	6.3	-	6.3	6.2	6.3
41	Manian1	R	38	19	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.6	6.6	6.6	6.6
42	Manian2	R	35	17.5	6.6	6.5	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
43	MFF 1	R	89	44.5	7.0	7.0	-	7.3	-	-	7.0	7.0	7.1	7.0
44	MFF 2	R	59	29.5	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.8	6.8	6.9	6.8
45	MFF 3	R	107	53.5	7.1	7.1	-	7.4	-	-	7.1	7.1	7.2	7.1
46	MFF 4	R	15	7.5	6.2	6.1	-	6.4	-	-	6.1	6.1	6.1	6.1
47	MFF 5	R	30	15	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
48	MFF 6	R	12	6	6.1	6.0	-	6.3	-	-	5.9	6.0	6.0	6.0
49	MFF 7	R	109	54.5	7.1	7.2	-	7.4	-	-	7.1	7.1	7.2	7.1
50	MFF 8	R	65	32.5	6.8	6.9	-	7.2	-	-	6.8	6.8	6.9	6.8
51	Mozafari 1	S	20	10	6.3	6.2	6.1	-	-	6.3	-	6.2	6.2	6.3
52	Mozafari 2	R	30	15	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.4	6.4	6.5	6.4
53	Mymand	R	31	15.5	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.5	6.5
54	Nadvan	S	16	8	6.2	6.1	6.0	-	-	6.2	-	6.1	6.1	6.1
55	Narreh	R	22	11	6.4	6.3	-	6.6	-	-	6.3	6.3	6.3	6.3
56	Nezam Abad 1	N	58	29	6.8	6.8	-	-	6. 8	-	-	6.8	6.8	6.8
57	Nezam Abad 2	S	13	6.5	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.0	5.9	6.0
58	North Fishvar	R	60	30	6.8	6.8	-	7.1	-	-	6.8	6.8	6.9	6.8
59	North Khazeyad	R	22	11	6.4	6.3	-	6.6	-	-	6.3	6.3	6.3	6.3
60	Pazanan	R	108	54	7.1	7.1	-	7.4	-	-	7.1	7.1	7.2	7.1
61	Roodyal 1	R	21	10.5	6.3	6.3	-	6.6	-	-	6.2	6.3	6.3	6.3
62	Roodyal2	R	36	18	6.6	6.6	-	6.9	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
63	Roshanaei	R	17	8.5	6.2	6.1	-	6.5	-	-	6.1	6.2	6.2	6.1
64	Safid	S	13	6.5	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.0	5.9	6.0
65	Sapiddar 1	R	19	9.5	6.3	6.2	-	6.6	-	-	6.2	6.2	6.3	6.2
66	Sapiddar 2	R	20	10	6.3	6.2	-	6.6	-	-	6.2	6.2	6.3	6.2
67	Sarvestan	R	25	12.5	6.4	6.4	-	6.7	-	-	6.3	6.4	6.4	6.3
68	Sefidar	S	28	14	6.5	6.4	6.3	-	-	6.4	-	6.4	6.3	6.4
69	Sepidar Anticline	S	12	6	6.1	6.0	5.8	-	-	6.0	-	6.0	5.9	6.0
70	Shahini 1	S	17	8.5	6.2	6.1	6.0	-	-	6.2	-	6.2	6.1	6.2
71	Shahini 2	S	11	5.5	6.0	5.9	5.8	-	-	6.0	-	5.9	5.9	6.0

Row	Faults Name	Mechanism	L(f)	L(r)	1	2	3			4			MMAX	Mw
						G	S	R	N	S	R	G		
72	Siakh 1	S	14	7	6.1	6.0	5.9	-	-	6.1	-	6.1	6.0	6.1
73	Siakh 2	S	40	20	6.6	6.6	6.4	-	-	6.6	-	6.6	6.5	6.6
74	South Farrashband	S	46	23	6.7	6.7	6.5	-	-	6.7	-	6.7	6.6	6.7
75	South Khazeyad	R	33	16.5	6.5	6.5	-	6.8	-	-	6.5	6.5	6.6	6.5
76	Surmeh	R	21	10.5	6.3	6.3	-	6.6	-	-	6.2	6.3	6.3	6.3
77	Takhteh	S	39	19.5	6.6	6.6	6.4	-	-	6.6	-	6.6	6.5	6.6

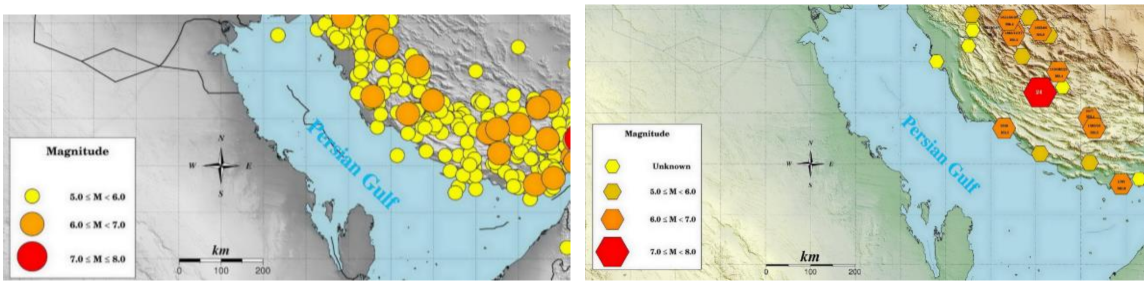
1-Ambraseys & Jackson(1998),2-Nowroozi(1985),3- Slemmons, (1982),4-Wells & Coppersmith (1994)
N: Normal,S:strike slip, R:revers,G:General,L(f):Length of fault,L(r):Rapther lenght

۳- نتایج

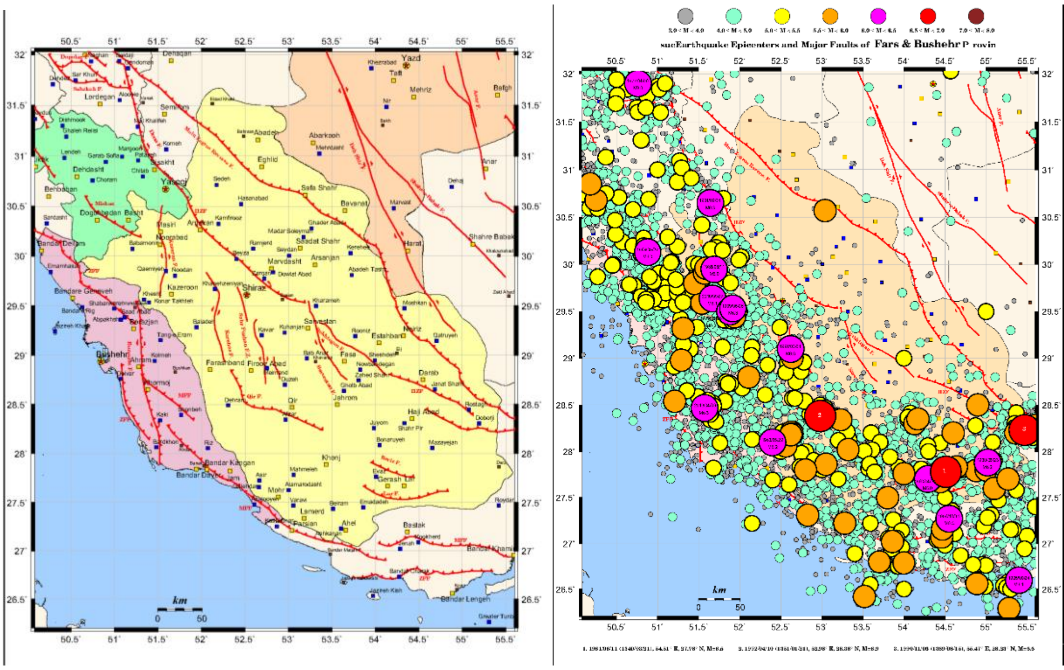
پارامترهای لرزه‌خیزی ساختگاه بر طبق وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه و بر اساس رهیافت احتمالاتی تحلیل خطر زمین‌لرزه و مشخصات منابع لرزه‌ای نقطه‌ای، خطی و سطحی (شکل ۳) محاسبه و به هر یک از چشمه‌های لرزه زا به‌صـورت مناسب با موقعیت و لرزه‌خیزی آن نسبت داده شده است. همچنین هر دو پارامتر آهنگ لغزش و آهنگ لرزه‌خیزی با در نظرگیری شرایط درخت منطقی با وزن یکسان استفاده شده و در شکل‌گیری خطر کلی زلزله میزان مشارکت هر یک از چشمه‌های لرزه زا بررسی شده است (مشارکت چشمه لرزه‌ای قطعه سوم گسل پیشانی کوهستان بیش از دیگر چشمه‌هاست) و مقادیر طیف پاسخ در سطح طراحی و بیشینه شتاب جنبش زمین تعیین شده است.



شکل ۳- نقشه‌های لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساختی گستره ساختگاه



شکل ٤- وضعیت لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی ساختگاه و محدوده پیرامونی آن



شکل ٥- رومرکز زمین‌لرزه‌های بزرگ و چشمه‌های لرزه زایی خطی ساختگاه در محدود پیرامونی ساختگاه

٣-١- تخمین بیشینه شتاب افقی جنبش نیرومند زمین

ازجمله مهم‌ترین پارامترهای جنبش نیرومند زمین در طراحی سازه در برابر خطر زمین‌لرزه، کنترل بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه افقی[1] است. با استفاده از نتایج حاصل از روش احتمالاتی، پارامترهای بیشینه مقادیر شتاب مؤلفه افقی ساختگاه در سطوح لرزه‌ای با احتمال فراگذشت ۹۹,۵ و ۱۰ و ۲ درصد در ۵۰ سال تهیه شده و نتایج در جدول (٤) ارائه شده است.

1 PHGA

جدول ٤- حداکثر شتاب افقی ساختگاه در سطح زمین در سطوح مختلف لرزه‌ایی بر پایه عمر مفید ۵۰ سال

سطح لرزه‌ای با احتمال فراگذشت	۹۹,۵ درصد در ۵۰ سال	۱۰ درصد در ۵۰ سال	۲ درصد در ۵۰ سال
حداکثر شتاب افقی در سطح زمین	0.11	0.39	0.61

۳-۲-طیف پاسخ ریسک محور برای سطح طراحی

در استاندارد ASCE۰۷–۱۰ معیارهایی برای طراحی و ساخت ساختمان‌ها و سایر سازه‌های در معرض حرکات لرزه‌ای زمین ارائه شده است.

طیف پاسخ طراحی بر اساس مفهوم ریسک محوری توسط ASCE ۰۷ که شدیدترین اثرات زلزله در نظر گرفته شـده در این استاندارد برای جهتی مشخص است و منجر به بزرگ‌ترین پاسخ حداکثری به جنبش افقی زمین با در نظر گرفتن هدف ریسک‌محوری است در جدول (۵) و نمودار (۱) نشان داده شده توسعه می‌یابد.

مطابق با رابطه (۱) طیف پاسخ طراحی در این استاندارد برای دوره تناوب‌های مختلف پاسخ طیفی شتاب طراحی (Sa) به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&S_a = S_{DS}\,(0.4+0.6\,T/T_0) && T<T_0\\
&Sa = S_{DS} && T_0\le T<Ts\\
&Sa = \frac{S_{D1}}{T} && Ts<T\le T_L\\
&Sa = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} && T>T_L
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

که S_{DS} و S_{D1} پارامترهای پاسخ طیفی شتاب طراحی برای دوره تناوب‌های ۰,۲ و ۱ ثانیه است و بر طبق روابط ذیل تعیین می‌شوند.

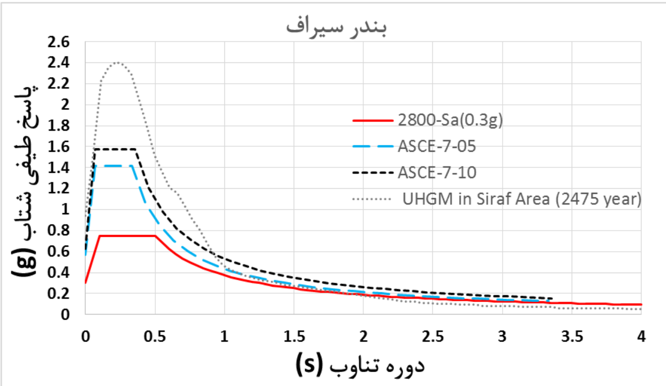
$$S_{MS} = F_a\,S_S \qquad (2)$$
$$S_{M1} = F_v\,S_1 \qquad (3)$$
$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \qquad (4)$$
$$S_{D1} = 2/3\,S_{M1} \qquad (5)$$

S_S و S_1 و F_a و F_v پارامتر پاسـخ طیفی شتاب و ضرایب ساختگاه در دوره تناوب‌های ۰,۲ و ۱ ثانیه است، T دوره تناوب اصـلی سـازه به ثانیه، T_L دوره تناوب (های) انتقالی پریود بلند نشان داده شده در شکل‌های مشخصی برای کل امریکا (برای سایر نقاط این پارامتر برابر با ٤ ثانیه است) ارائه شده است.

$$
\begin{aligned}
&T_0 = 0.2\,S_{D1}/\,S_{DS}\\
&T_S = S_{D1}/S_{DS}
\end{aligned}
\qquad (6)
$$

جدول ٥- پارامترهای طراحی بر پایه ASCE ۰۷ برای ساختگاه در سطح حداکثر زلزله منظور شده MCE و MCE_R با دوره بازگشت ۲٤۷٥ سال

ویرایش	نوع خاک	S_{DS}	S_{D1}	S_S	S_1	Fa	Fv	S_{MS}	S_{M1}
2005	C or II[1]	1.41638	0.4203312	2.114	0.3921	1	1.6	2.114	0.62736
2010	C or II	1.57249	0.5185264	2.347	0.4837	1	1.6	2.347	0.77392



نمودار ١- طیف ویژه ساختگاه و طیف طراحی بر اساس آیین‌نامه ASCE ۰۷ و ۲۸۰۰

٤- نتایج و بحث

در ویرایش‌های قدیمی‌تر استانداردهای ایالات‌متحده مقادیر زمین‌لرزه تعیین شده در نقشه‌های طراحی لرزه‌ای تا حدودی مبتنی بر احتمال فراگذشت ۱۰٪ در پنجاه سال بوده‌اند، اخیراً بخش احتمالاتی (رهیافت احتمالاتی) حداکثر زلزله در نظر گرفته شده (MCE) نقشه‌های زمین‌لرزه مقررات ASCE۷-۰٥ برابر احتمال فراگذشت ۲٪ در ٥۰ سال سال‌اند. این افزایش در مقادیر حرکت زمین، ناشی از تغییر در هدف عملکردی از ایمنی جانی به ممانعت از فروریزش است که منجر به معرفی ضریب $\frac{2}{3}$ طیف شده و در حداکثر زلزله منظور شده حرکت زمین اعمال می‌گردد. همچنین در بخش احتمالاتی نقشه‌های ASCE ۷ فرض شده که ظرفیت در برابر فروریزش سازه‌های طراحی شده برای زمین‌لرزه‌های با خطر یکنواخت بدون عدم قطعیت است و احتمال فروریزش و خرابی آن در ٥۰ سال نیز یکنواخت است، اما چون در ظرفیت فروریزش یک سازه عدم قطعیت وجود دارد این امر صحیح نیست و تغییر از محلی به محل دیگر در شکل منحنی خطر لرزه‌ای منجر به غیریکنواختی احتمال فروریزش می‌شود.

بر اساس تفاسیر موجود از استاندارد ASCE ۷ در مقررات لرزه‌ای NEHRP تخمین احتمال فروریزش در ٥۰ سال در سازه‌ای که برای زمین‌لرزه‌های با احتمال فراگذشت ۲٪ در ٥۰ سال طراحی شده با اعمال ضریب $\frac{2}{3}$ در آن،

[1] براساس طبق بندی استاندارد ۲۸۰۰ نوع خاک C استاندارد امریکا برابر خاک نوع دو این استاندارد است

در واقع به لحاظ جغرافیایی یکنواخت‌تر است تا سازه‌ای که برای زمین‌لرزه‌های با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال طراحی شده و ضریبی به آن اعمال نگردد.

بر طبق نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی ایران در آیین‌نامه ۲۸۰۰، محل ساختگاه مؤید سطح نسبی خطر لرزه‌ای بالای است و مقدار شتاب مبنای طرح برابر ۰/۳ شتاب ثقل است، درحالی‌که شاخص‌های حرکتی جنبش زمین برای این مناطق بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای با احتمال فراگذشت ۲ و ۱۰ درصد در ۵۰ سال عمر مفید سازه به ترتیب ۰,۶۱ و ۰,۳۹ شتاب ثقل تعیین شده است.

همان‌طور که در نمودار (۱) ملاحظه می‌شود مقادیر طیف پاسخ شتاب استاندارد ASCE ۷ در بازه شتاب ثابت در حالت ریسک محور نسبت به حالت غیر ریسک محور به مقدار ۱۳ درصد افزایش یافته و در بازه سرعت ثابت نیز این نمودار بالاتر از نمودار طیف خطر یکنواخت است.

طیف طراحی ریسک محور ارائه شده بر اساس پژوهش نوجوان و همکاران (۱۳۹۹) نسبت به طیف با خطر یکنواخت ساختگاه موردنظر کاهش‌یافته است، اما در ساختگاه بندر سیراف افزایش مقدار طیف در کل بازه پریودی رویداده است، دلیل این امر ناشی از در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در محل ساختگاه نسبت به طیف حالت خطر محور است که تأثیر خود را به‌صورت افزایش طیف ریسک محور نسبت به حالت خطر محور نشان داده است، بنابراین این‌گونه نتیجه می‌توان گرفت که درنظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در ساختگاه گاهی می‌تواند منجر به کاهش طیف ریسک محور نسبت به حالت طیف خطر یکنواخت شده و یا بلعکس باعث افزایش طیف ریسک محور نسبت به طیف خطر یکنواخت گردد.

اگرچه مقایسه طیف پاسخ با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد با طیف پاسخ با احتمال فراگذشت ۲ درصد در پنجاه سال صحیح نیست، اما با توجه به تغییر اهداف طراحی ASCE ۷ طیف حاصل به‌دست‌آمده از این سطح خطر با احتمال فراگذشت ۲ درصد، این عدد مقداری محافظه‌کارانه و غیراقتصادی است و عواقب اقتصادی طراحی این جنبش شدید زمین غیرعملی است، بنابراین ضریب مقیاس $\frac{2}{3}$ معرفی شده بر اساس اضافه مقاومت ذاتی موجود در سازه‌هایی که مطابق با استانداردهای امروزی ساخته شده موجب کنترل عواقب اقتصادی طراحی شده، بنابراین با مقایسه نمودارهای طیف طراحی پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ و ASCE ۷ (نمودار (۱)) این نتیجه قابل حصول است که عمده اختلاف این دو طیف در دوره تناوب ۰ الی ۲ ثانیه است و در این ناحیه طیف خطر یکنواخت و ریسک محور استاندارد ASCE ۷ با اختلاف زیادی از طیف استاندارد ۲۸۰۰ قرار دارند. اگرچه در سایر دوره تناوب‌ها (ناحیه سرعت ثابت) طیف استاندارد ASCE ۷ از ۲۸۰۰ بالاتر است.

استان بوشهر یکی از قطب‌های اقتصادی، صنعتی، تجاری کشور است و ازنظر جنبه‌های تأثیرگذار ازجمله تولید نیرو در نیروگاه هسته‌ای و قرارگیری بخش عظیمی از مهم‌ترین تأسیسات زیربنایی کشور نقش بسیار مهمی در

صـنعت و اقتصـاد کشـور ایفا می‌کند، بنابراین عدم توجه کافی به این موضوع و اختلال یا از کار افتادن هر کدام از سازه‌های حیاتی موجود در مناطق جنوبی کشور در اثر زلزله می‌تواند خسارات غیرقابل جبرانی بر اقتصاد و صنعت کشـــور وارد آورد، بنابراین اســـتفاده از مفاهیم جدید و بروز برای تعیین و برآورد خطر زمین‌لرزه (ازجمله رویکرد ریسک محوری) در این مناطق باید از اولویت‌های برنامه‌های ریز پهنه‌بندی خطر جنبش زمین در کشور باشد.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضـر تحت عنوان تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر ریسـک محور برای سـاختگاه بندر سـیراف (اسـتان بوشهر) انجام شده است. در مطالعه حاضر، با تعیین نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای بر اساس استاندارد ASCE ۰۷-۱۰و ویرایش قبلی آن به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی با استفاده از رهیافت احتمالی پرداخته شده است که نتایج کلی به‌صورت ذیل قابل حصول است:

در هنگام رویداد ناگهانی زلزله بیشـتر زخمی‌ها و کشته‌شده‌های ناشی از این پدیده در اثر فروریزش سازه ایجاد می‌شـوند؛ بنابراین در مقررات ASCE ۷-۱۰ اینگونه ذکر شـده اسـت که هدف اصلی این استاندارد جلوگیری از سقوط و فروریزش در زمین‌لرزه شدید و بسیار نادر است که حداکثر زمین‌لرزه در نظر گرفته شده (MCE) جنبش زمین نامیده شـده است. همچنین در این استاندارد ذکر شده که هدف ASCE ۷-۱۰ همان هدف در ویرایش قبلی اسـت. بااین‌حال، پیشـگیری از فروریزش به تعریف حداکثر زمین‌لرزه (MCER) در نظر گرفته شده ریسک‌محور تغییر یافته است.

بالاتر بودن طیف شتاب ریسک محور در ساختگاه طرح نسبت به طیف با خطر یکنواخت به دلیل عدم قطعیت در ظرفیت فروریزش سـازه‌های طراحی شـده نسـبت به زمین‌لرزه‌های با خطر یکنواخت اسـت، بنابراین احتمال فروریزش و خرابی سازه‌های طراحی شده بر طبق این طیف با تغییر از محلی به محل دیگر و تغییر در شکل منحنی خطر لرزه‌ای، منجر به غیریکنواختی احتمال فروریزش می‌شود.

طیف معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ ازنظر تاریخی و رویداد زلزله‌های گذشته بر اساس جنبش زمین در ارتباط با رویدادی با احتمال ۱۰٪ فراگذشت در ۵۰ سال بنا شده است که فاصله دوره بازگشت زمانی آن ٤۷۵ سال است. در مناطق فعال لرزه‌ای که زمین‌لرزه‌ها بیشـتر اتفاق می‌افتد، مانند غرب، جنوب غربی و سـواحل جنوبی کشور، این روش شاید یک رویکرد منطقی است؛ اما در مناطقی که زمین‌لرزه‌ها کمتر دیده شدند یا حساسیت منطقه یا ساختگاه حائز اهمیت اسـت، پیش‌بینی خطر زلزله با وقوع دوره بازگشـت ٤۷۵ سـال سطح کمتری (under-predicted) اسـت؛ بنابراین، تعریف حداکثر زمین‌لرزه در نظر گرفته‌شـده به احتمال فراگذشـت ۲٪ در ۵۰ سـال، یا یک دوره بازگشت حدود ۲۵۰۰ سال باید مورد تجدیدنظر قرار گیرد. اگرچه اشاره شد که عواقب اقتصادی طراحی بر اساس این جنبش زمین غیرعملی اسـت، بنابراین با تعیین یک ضـریب مقیاس بر اسـاس اضـافه مقاومت ذاتی موجود در

سازه‌هایی که مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ طراحی می‌شوند، می‌تواند باعث بهبود برآورد میزان خطر زلزله نسبت به روش حال حاضر این استاندارد شود.

درنهایت با توجه به وضـعیت لرزه‌خیزی بالای کشور و مخصوصاً حساسیت بالای مناطق جنوبی کشور پیشنهاد می‌شـود طیف آئین‌نامه‌های کشـور (ازجمله استاندارد ۲۸۰۰) اصلاح‌شده و مورد مطالعه گسترده قرار گیرد، بنابراین توصیه می‌شود تا زمان به‌روز کردن طیف‌های طراحی این آیین‌نامه‌ها، با استفاده از روش‌های موجود در استانداردهای معتبری ازجمله ASCE۷ که در آن‌ها ثبت و برآورد زلزله به‌صورت مناسبی انجام شده است، نسبت به اصلاح طیف در این آیین‌نامه‌ها اقدام شود و برای مناطق با اهمیت خیلی زیاد و زیاد (ازجمله تهران، بوشهر و تبریز) به دلیل خطر رویداد زلزله و وقوع خسارت‌های جبران‌ناپذیر، از طیف طراحی بر اساس مفهوم ریسک محوری بر طبق ASCE ۷–۱۰ استفاده شود.

کتابنامه

اشجع ناس، پ.، نصرآبادی، ا.، سپه وند، م. ر.، موسوی بفروئی، س. ح؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لرزه در استان فارس. فصلنامه علوم و مهندسی زلزله، سال پنجم، شماره چهارم، ۲۱–۳۶.

افتخارنژاد، ج؛ ۱۳۵۹. تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحه ۲۸–۱۹.

آژانس همکـاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا)؛ ۱۳۸۰. ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ، با همکاری مرکز مطالعات زلزله و زیسـت‌محـیطـی تـهـران بـزرگ. گـزارش نـهـایی، موجود در پـایگـاه ملی داده‌هـای علوم زمین کشـور، http://www.ngdir.ir/geoportalinfo

آقانباتی، ع؛ ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۷ صفحه.

آمبرسیز، ن. ن.، ملویل، چ. پ؛ ۱۳۷۰. تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران. ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، تهران، ٦٧٤ صفحه.

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله؛ ۱۳۸۵. مطالعات برآورد خطر و پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در ساختگاه سایت ۳ پارس، جلد اول.

درویش زاده، ع؛ ۱۳۷۰. زمین‌شناسی ایران. تهران، امیرکبیر، ندا، ۹۰۱ صفحه.

زارع، م؛ ۱۳۸۸. مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه. تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۵۲ ص.

شایان، س.، زارع، غ؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌های رخ‌داده در استان فارس طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی و مقایسه آن با دیگر یافته‌های پژوهشی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره اول، شماره پیاپی ۱۱۲.

قدرتی امیری، غ.، رضویان امرئی، ع.، طهماسبی بروجنی، م.ع؛ ۱۳۹٤. تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان. نشریه مهندسی سازه و ساخت ,۲(۲) .صفحه ٤۳–۵۱.

قدرتی امیری، غ.، رضـویان امرئی، ع.، میرهاشـمی، م؛ ۱۳۸۹. طیف خطر یکسـان برای مناطق مختلف جنوب شهر تهران. مهندسی عمران، دوره ۲–۲٦(۳), ۵۱–٦۰.

کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (ویرایش چهارم)؛ ۱۳۹٤. آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰). وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: ض-۲۵، صفحه ۲۱۲.

نوجوان، ک.، برزگری، الف.، محمدیان، م؛ ۱۳۹۹. تحلیل خطر احتمالی زمین‌لرزه با در نظر گرفتن مفهوم ریســک محوری (مطالعه موردی الفین ١٤). دانش پیشگیری و مدیریت بحران. ۱۰ (۱)، صفحه ۹۰-۷٤.

یوسـفی صـبوری، م.، تقی‌خانی، ت؛ ۱۳۹٤. تجزیه‌وتحلیل خطر لرزه‌ای شهر تبریز با توجه به اثر پدیده‌ی حوزه‌ی نزدیک. مهندسی عمران، ۳۱،۲(۲،۱)، ۲۳-۳٤.

Abrahamson, N., Silva, W., 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground Motion Relations. Earthquake Spectra. 24 (1), 67–97.

Algermissen, S. T., Perkins, D. M., Thenhaus, P. C., Hanson, S. L., Bender, B. L., 1982. Probabilistic estimates of maximum acceleration and velocity in rock in the contiguous United States. U. S. Geological Survey, Open-File Report 82-1033, https://doi.org/10.3133/ofr821033

Ambraseys, N. N., Jackson J. A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. Geophysical Journal International, 133, 2, 390-406. https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1998.00508.x

Ambraseys, N. N., Melville, Ch. P. 1991. History of Earthquakes in Iran. Abolhassan Radeh, Publication by Agah, 674 pages.

Ambraseys, N. N., Simpson, K. U. and Bommer, J. J., 1996) . Prediction of horizontal response spectra in Europe. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 25(4), 371-400.

ASCE Standard. (ASCE/SEI 7-10). 2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Published by American Society of Civil Engineers, Alexander Bell Drive, Reston, Virginia.

ASCE Standard. (ASCE/SEI 7-5). 2005. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

Bolt, B. A., 2003) . Earthquakes. Fifth Edition. New York: W. H. Freeman and Co, Page(s) 320.

Boore, D. M., Joyner, W. B., Fumal, T. E., 1997) . Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: a summary of recent work. Seismological research letters, 68(1), 128-153.

Bozorgnia, Y., Bertero, V. V., 2004. EARTHQUAKE ENGINEERING, From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering. CRC PRESS, Page(s) 976.

Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., 2003. Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(1), 314-331.

Campbell, K., Bozorgnia, Y. 2008. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5%-damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. Earthquake Spectra, 24 (1), 139–171.

Chiou, B. S. and Youngs, R. R., 2008. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake Spectra. 24 (1), 173– 215.

Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis. Bull Seismol Soc Am 58(5), 1583–1606

Douglas, J., Ulrich, T., Negulescu, C. 2013. Risk-targeted seismic design maps for mainland France, Natural Hazards, 65, 1999–2013, DOI: 10.1007/s11069-012-0460-6.

EZ-FRISK 7.43, Risk Engineering., 2010. Software for Earthquake ground Motion Estimation. Boulder, Colorado.

Gardner, J. K., Knopo. L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. Bulletin of the Seismological Society of America, 64 (5), 1363-1367.

Ghodrati Amiri, G., Motammed, R., Rabet Eshaghi, H. 2003. Seismic hazard assessment of metropolitan Tehran, Iran. Earthquake Engineering, 7, 347-372.

Grünthal, G. (Ed.)., 1998. European Macroseismic Scale 1998 EMS-98, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie ; 15). Luxembourg: Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 101 p.

Gupta, I. D., 2002. The state of the art in seismic hazard analysis. ISET Journal of Earthquake Technology, 39, 4, pp. 311- 346.

Gutenberg, B., Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 34 (4), pp. 185-188.

Kijko, A., 2001. HN2.FOR Program: Seismic Hazard Assessment from Incomplete & Uncertain Data, Version B: Lambda and Beta are Calculated Simultaneously.

Kijko, A., Sellevoll, M., 1992. Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II. Incorporation of magnitude heterogeneity, Bulletin of the Seismological Society of America, 82(1), 120-134.

Kijko, A., Sellevoll, M. A., 1989. Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part I. Utilization of Extreme and Complete Catalogues with Different Threshold Magnitudes. Bulletin of the Siesmological Society of America, Vol. 79, pp. 645-654.

Kramer, S. L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. Page(s) 653.

Liel, A. L. N., Raghunandan, M., Champion, C., 2015. Modifications to risk-targeted seismic design maps for subduction and near-fault hazards. Vancouver Canada. In 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12).

Luco, N., Ellingwood, B. R., Hamburger, R. O., Hooper, J. D., Kimball, J. K., Kircher, C. A., 2007. Risk-targeted versus current seismic design maps for the conterminous United States. In: SEAOC 2007 convention proceedings

Mirzaei, N., Gao, M., and Chen, Y. T., 1998. Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismotectonic provinces. J. Earthquake Prediction Research, 7, 465–495

Nowroozi, A. A., 1985. Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. Bulletin of the Seismological Society of America, 75 (5), pp. 1327-1338.

Petersen, M. D., Harmsen, S. C., Jaiswal, K. S., Rukstales, K. S., Luco, N., Haller, K. M., Mueller, C. S., Shumway, A. M., 2018. Seismic Hazard, Risk, and Design for South America. Bulletin of the Seismological Society of America, 108 (2), 781–800.https://doi.org/10.1785/0120170002.

Ramezani Besheli, P., ZARE, M., Ramazani Umali R. and Nakhaeezadeh. G., 2015. Zoning Iran based on earthquake precursor importance and introducing a main zone using a data-mining process. Natural Hazards, 78 (2), pp. 821–835. 10.1007/s11069-015-1745-3.

Scordilis, E. M., 2006. Empirical Global Relations Converting MS and mb to Moment Magnitude. Journal of Seismology, Volume 10, Issue 2, pp 225–236.

Sengara, I., 2012. Investigation on risk-targeted seismic design criteria for a high-rise building in Jakarta-Indonesia. Lisboa, In 5th World Conference of Earthquake Engineering (WCEE).

Sengara, w., Irsyam, M., Sidi, I, D., Mulia, A., Asrurifak, M., Hutabarat, D., Partono, W. 2020. New 2019 Risk-Targeted Ground Motions for Spectral Design Criteria in Indonesian Seismic Building Code. E3S Web of Conferences 156, 03010 4th ICEEDM 2019

Shoja-Taheri, J., Naserieh, S., Ghofrani, H., 2007. ML and MW Scales in the Iranian Plateau Based on the Strong-Motion Records. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 2, pp. 661–669. doi: 10.1785/0120060132.

Shroder, J. F., Wyss, M., 2014. Earthquake Hazard, Risk and Disasters. Academic Press, Page(s) 606.
Silva, V., Crowley, H., Bazzurro, P. 2016. Exploring Risk-Targeted Hazard Maps for Europe. Earthquake Spectra, 32(2), page(s) 1165-1186.
Slemmons, D. B., 1977. Faults and earthquake magnitude. Vicksburg: U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Miss., Misc. Paper S-73-1, Report 6, 129 p.
Soleimanmeigooni, F., Tehranizadeh, M., 2020. Uniform risk vs. uniform hazard spectral acceleration for different soil types in Alborze seismic zone. Asian Journal of Civil Engineering, 21, pages67–79.
Technology National Earthquake Hazards Reduction Program., 2003. NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS, FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (FEMA 450). Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, Washington, D.C.
Wells, L. D., Coppersmith, K. J., 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, 84 (4), pp. 974-1002.
Zare, M., 2010. Principles of Earthquake hazard Analysis. Tehran: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Page(s) 144.
Zare, M., Amini, H., Yazdi, P., Sesetyan, K., Demircioglu, M. B., Kalafat, D., Erdik, M., Giardini, D., Khan, M. A., Tseriteli, N., 2014. Recent developments of the Middle East catalog. Journal of Seismology, Vol. 18, pages 749–772. DOI 10.1007/s10950-014-9444-1.